

Implementasi Teknik Relokasi 1-0 pada Pengembangan Algoritma *Sequential Insertion* Untuk Perbaikan Solusi Awal Model VRP dengan Karakteristik *Heterogeneous Fleet Size and Mx Vehicle Routing*

Dwi Satria Perkasa¹⁾, Ary Arvianto²⁾

Program Studi Teknik Industri
Fakultas Teknik – Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH Tembalang Semarang 50239
Email : [*dsatria.perkasa@gmail.com*](mailto:dsatria.perkasa@gmail.com)¹⁾; [*aryarvi@yahoo.com*](mailto:aryarvi@yahoo.com)²⁾

Abstrak

Transportasi dan distribusi erat kaitannya dengan perusahaan dalam mengirimkan produk ke pelanggan. Permasalahan pengiriman produk ke pelanggan ini dikenal dengan Vehicle Routing Problem (VRP). VRP memiliki berbagai varian model seperti yang telah dikembangkan penelitian sebelumnya. Dalam penelitian ini akan mengembangkan model VRP Heterogeneous fleet size and mix vehicle routing (HFSMVR), tujuannya meminimasi jumlah kendaraan, fungsi beban kerja, dan fungsi biaya. Penentuan jumlah dan rute kendaraan penelitian ini tetap mempertimbangkan aspek multiple product, multiple trips, multiple products and compartments, split delivery, dan multiple time windows. Teknik pemecahan masalah dalam penelitian ini menggunakan algoritma sequential insertion dan metode local search, serta improvement dengan operator relocation 1-0. Berdasarkan perhitungan model VRP Heterogeneous fleet size and mix vehicle routing (HFSMVR) didapatkan hasil kombinasi jenis kendaraan terpilih kapasitas 2.000 kiloliter dan 4.700 kiloliter yang menghasilkan jumlah tur 2, nilai TCT 265.76 jam dan RCT 70.24 jam dengan fungsi beban kerja 2.266.462,4 dan fungsi biaya sebesar Rp. 1.818.232.000, sedangkan hasil improvement relocation 1-0 didapatkan hasil jenis kendaraan terpilih 2.000 kiloliter dan 4.700 kiloliter yang menghasilkan jumlah tur 2, nilai TCT 272.27 jam dan RCT 63.73 jam dengan fungsi beban kerja yaitu 2.272.907,3 dan fungsi biaya sebesar Rp. 1.899.536.000.

Kata Kunci : VRP, distribusi, heterogeneous fleet size and mix vehicle, relocation 1-0, local search, sequential insertion

Abstract

Transportation and distribution is closely related with company in delivering the products to the customer. The problem of delivering products is known as Vehicle Routing Problem (VRP). VRP has many variants which have been developed in the previous research. In this research we will develop a VRP Model heterogeneous fleet size and mix vehicle routing (HFSMVR), the goal is for minimizing the number of vehicle, workload function, and cost function. determination the number of vehicle and route which is still considering multiple product, multiple trips, multiple product and compartment, split delivery, and multiple time windows aspects. Problem solving techniques in this research using sequential insertion algorithm and local search method, also improvement with operator relocation 1-0. Based on the calculation of VRP Heterogeneous fleet size and mix vehicle routing (HFSMVR) model, showed a combined capacity of 2.000 and 4,700 kiloliters which have a tour number is 2, TCT value is 265.76 hours, and RCT value is 70.24 hours, and the value of workload function is 2.266.462,4 and cost function is Rp. 1.818.232.000. while the improvement result showed a combined capacity of 2,000 and 4,700 kiloliters which have a tour number is 2,

TCT value is 272.27 hours, and RCT is 63.73 hours and workload function is 2.272.907,3 and cost function is Rp. Rp. 1.899.536.000.

Keywords : *VRP, distribution, heterogeneous fleet size and mix vehicle, relocation 1-0, local search, sequential insertion*

PENDAHULUAN

Distribusi adalah salah satu hal yang penting dalam suatu bidang usaha. Segala upaya diusahakan agar barang cepat sampai pada konsumen dan bisa diterima dengan baik. (Yanbin Liu ,2010 dkk).

Menurut Woodward (1997) kegiatan transportasi merupakan bagian dari pengertian distribusi. Permasalahan sekarang yang sering dihadapkan pada perusahaan-perusahaan adalah permasalahan distribusi dan transportasi. Permasalahan sistem distribusi dari perusahaan merupakan faktor penting yang melibatkan beberapa distribusi. Bodin et al (1983) menyebutkan bahwa beberapa pertimbangan utama tersebut antara lain adalah pemilihan rute kendaraan, armada kendaraan, sampai pada penjadwalan kendaraan. Pertimbangan utama inilah yang sekarang dikenal dengan istilah *vehicle Routing Problem* (VRP).

VRP secara mendasar diartikan sebagai salah satu bentuk masalah penentuan rute kendaraan dalam permasalahan transportasi yang melibatkan pendistribusian barang kepada pelanggan dan bertujuan untuk meminimasi beberapa tujuan distribusi (Christofides et al, 1979).

Permasalahan VRP klasik menganggap kapasitas tiap *vehicle* yang digunakan sama semua. Pada kenyataannya, sebuah perusahaan tidak selalu mempunyai komposisi *vehicle* yang sama, sehingga metode penyelesaian VRP klasik kurang mengena untuk diterapkan. Karena itu muncul varian metode VRP klasik untuk menyelesaikan permasalahan VRP dengan komposisi *vehicle* yang berbeda, yang dikenal dengan *Heterogeneous Fleet Size and Mix Vehicle Routing* (HFSMVR).

Jose Brandao (2007) berpendapat dalam prakteknya banyak perusahaan yang

menghadapi masalah seperti HFSMVR atau lebih umum dengan beberapa kendala tambahan. Kebutuhan berbagai jenis kendaraan ditentukan oleh karakteristik pelanggan. Biasanya kendaraan besar lebih tepat untuk melayani pelanggan yang membutuhkan pesanan besar dan kendaraan kecil lebih tepat melayani pelanggan yang membutuhkan pesanan kecil. Tujuan dari HFSMVR ini meminimasi total biaya tetap dan biaya variabel semua rute sesuai dengan batasan sebelumnya.

Belfiore (2012) berpendapat bahwa penambahan model *heterogeneous fleet size and mix vehicle* untuk menguji pengiriman kendaraan dengan ukuran kendaraan dan campuran routing dapat meminimasi biaya tetap dan biaya variabel dibanding tanpa *non mix*. Biaya tetap dalam belfiore (2012) adalah biaya yang dikeluarkan untuk pembelian dan biaya perawatan kendaraan, biaya variabelnya adalah biaya jarak tempuh rute perjalanan kendaraan untuk mengirimkan pesanan. Arvianto (2009) menambahkan bahwa untuk meminimasi TCT dan jumlah tur dapat dilakukan dengan relokasi 1-0 / antar tur sehingga dapat mengurangi biaya sewa jenis kendaraan yang digunakan.

Arvianto (2009) telah mengembangkan model VRP dengan varian *Split Delivery, multiple product and compartments, multiple trips*, dan *multiple time windows*. Namun model yang dibuat masih menggunakan varian kendaraan yang homogeny dan belum ada aspek biaya.

Aditya (2013) mengembangkan model VRP dengan penambahan varian baru yang mempertimbangkan jenis kendaraan dengan kapasitas yang berbeda (*heterogeneous fleet*) dan mempertimbangkan aspek biaya.

Penelitian ini adalah lanjutan Aditya Hendra (2013) mengkombinasikan dan

menambahkan karakteristik VRP yaitu mengkombinasikan komposisi kendaraan (*composition of the fleet*) dengan kapasitas yang berbeda (*heterogeneous fleet*) dengan menambah karakteristik *fleet size and mix vehicle routing* dan operator perbaikan *Relocation 1-0*. Penambahan karakteristik *Heterogeneous fleet size and mix vehicle routing* adalah untuk memperbaiki dan meminimasi hasil dari penelitian sebelumnya, penambahan model *heterogeneous fleet size and mix vehicle* ini tetap mempertimbangkan *multiple product and compartments, multiple trips*, dan *multiple time windows*.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini mencoba mengembangkan masalah varian VRP yang telah diteliti dan dikembangkan oleh Aditya (2013) dengan menambah karakteristik dari penelitian sebelumnya yaitu *heterogeneous fleet size and mix vehicle routing* dan improvement dengan operator perbaikan *relocation 1-0*. Penambahan varian baru ini membandingkan hasil penelitian Aditya (2013) dan Jose Brandao (2007). Varian yang dipertimbangkan dalam penelitian ini adalah

- a. *Multiple product and compartment* : Kendaraan yang dimiliki mempunyai kompartmen lebih dari satu dan jenis produk yang dikirimkan lebih dari satu macam produk.
- b. *Split Delivery* : pengiriman produk kepada satu pelanggan dapat dibagi oleh satu atau beberapa kendaraan
- c. *Multiple Trips* : Satu kendaraan dapat melayani satu atau lebih pelanggan / rute dalam satu kali tur pengiriman produk.
- d. *Multiple Time Windows* : adanya mekanisme jam buka dan jam tutup sesuai dengan pelanggan lebih dari satu dalam periode perencanaan
- e. *Heterogeneous Fleet Size and Mix Vehicle* : Pengiriman produk dengan kombinasi jenis kendaraan dengan kapasitas yang berbeda tiap tur nya.

Operator Perbaikan

Metode ini memperbaiki solusi fisibel dengan melakukan serangkaian pertukaran sisi dan simpul dalam rute atau antar rute kendaraan dengan tujuan mengurangi biaya solusi. Metode perbaikan antar rute dapat digunakan pada perbaikan dalam rute (Laporte dan Semet, 2002)

Operator Perbaikan Relokasi 1-0 (*inter-tour move*)

operator perbaikan yang digunakan untuk memperbaiki solusi awal yang dihasilkan *sequential insertion* dalam penelitian ini adalah *inter-tour move* yaitu *relocation 1-0*. Penggunaan operator *inter-tour move* yaitu *relocation 1-0* pada penelitian ini lebih disebabkan karena *relocation* memungkinkan terjadinya pengurangan rute dibanding dua tipe lain (*crossover* dan *exchange*).

Tahap penentuan rute dan jadwal kendaraan distribusi terdiri dari tahapan identifikasi masalah, pengumpulan data, karakteristik sistem, pengembangan model, contoh numerik, perbaikan solusi dan analisis hasil. Berikut ini akan disajikan tahapan karakterisasi sistem dan pengembangan model.

Karakterisasi Sistem

Pada penelitian mengembangkan permasalahan VRP yang telah dikembangkan oleh aditya (2013) dengan menambah varian baru yaitu *heterogeneous fleet size and mix vehicle*, dan data yang digunakan berdasarkan hasil penelitian Yudhistira (2003). Produk yang didistribusikan terdiri dari premium, solar, dan minyak tanah. Dalam penelitian ini terdapat 9 pelabuhan yang terdiri dari 1 depot *supply point* dan 8 *destination point*.

Setiap hari pelabuhan memiliki *throughput* atau tingkat konsumsi bahan bakar minyak per hari dimana masing-masing pelanggan berbeda-beda. Kondisi ini akan

mengakibatkan pelabuhan memilik waktu dimana suatu pelabuhan akan mengalami kekurangan stok. Berdasarkan data permintaan, diperoleh informasi bahwa periode perencanaan yang dipakai adalah 7 hari, karena daya tahan stok terkecil adalah 7,1 hari di pelanggan Atapupu.

Distributor mempunyai 3 jenis kapal yang akan digunakan dalam pengiriman BBM, yaitu kapal dengan kapasitas 8.750 kiloliter, 4.700 kiloliter, dan 2.000 kiloliter dengan asumsi jumlah ketersediaan terbatas untuk masing-masing jenis kapal. Kondisi heterogen ini mengacu dalam Jose Brandao dan Belfiore

Dari masing-masing kapal terdiri dari 3 kompartemen dengan pembagian kompartemen adalah sebagai berikut: Grup *cargo* pertama 20% dari kapasitas total untuk produk premium. Grup *cargo* kedua 30% dari kapasitas total untuk produk solar. Grup *cargo* ketiga 50% dari kapasitas total untuk bahan bakar minyak tanah.

Kecepatan kapal yang digunakan adalah 10 knot/ jam. Kecepatan aliran untuk *loading/discharging* produk adalah 500 kiloliter/ jam untuk kapal 2.000, 300 kiloliter/jam untuk kapal 4.700, dan 200 kiloliter/jam untuk kapal 8.750 dan waktu setup untuk *loading/discharging* produk adalah selama 2 jam.

Formulasi Matematis

Sesuai dengan karakteristik pendistribusian dan model konseptual pada gambar 1, maka dapat dibuatlah model matematis yang akan digunakan sebagai penterjemah algoritma.

Indeks Model

i = Indeks lokasi ; $i = 0$ adalah depot, $i = 1, 2, \dots, N$ adalah pelanggan
 t = Indeks tur ; $t = 1, 2, 3, \dots, NT$
 r = Indeks rute ; $r = 1, 2, 3, \dots, NR[t]$
 p = Indeks produk ; $p = 0, 1, 2, \dots, NP$

k = Indeks posisi ; $k = 1, 2, \dots, NL[t, r]$
 z_n = Indeks Jenis Kapal; $z_n = 1, 2, \dots, n$

Parameter

N = Jumlah pelanggan
 NP = Jumlah jenis produk
 V = Kecepatan kendaraan
 LT = Kecepatan *loading*
 DT = Kecepatan *discharging*
 H = Horison perencanaan
 q_i = Jumlah pengiriman produk p ke pengecer i
 Q = Kapasitas total kendaraan
 $Q[p]$ = Kapasitas kompartemen kendaraan
 a_i^h = Waktu awal pelayanan di gudang/ pengecer i
 b_i^h = Waktu akhir pelayanan di gudang/ pengecer i
 Hk = Hari kerja
 C_{SK} = Biaya tetap kendaraan
 C_{BB} = Biaya bahan bakar per km
 C_L = Biaya *loading unloading* produk per unit
 C_G = Gaji sopir per kunjungan
 C_M = Akomodasi perjalanan
 C_R = Rupiah retribusi jalan per kendaraan per hari
 d_{tj} = Jarak antara gudang ke pelanggan ke gudang

Kriteria Performansi

TC = Total *cost*
 TCT = Total waktu penyelesaian tur
 RCT = Rentang waktu penyelesaian tur

Variabel

NV = Jumlah Total kapal (satuan : unit)
 NT = Jumlah tur
 NT_{z_n} = Jumlah tur kapal z_n
 $NR[t, z_n]$ = Jumlah rute dalam tur t oleh kapal z_n
 $NL[t, r, z_n]$ = Jumlah lokasi pada rute r dalam tur t oleh kapal z_n
 $L_{t, z_n, r, k}$ = lokasi pada posisi k , rute r dalam tur t kapal z_n
 $b_{L_{t, z_n, r, p}}$ = Besarnya muatan yang diantarkan didalam rute r ,

	tur t kapal z_n untuk produk p (satuan : volume)
$y_{L,t,r,z_n,k,p}$	= Proporsi pengiriman muatan produk p pada rute r , tur t kapal z_n dan lokasi k
W_s	= Waktu setup kapal (satuan : waktu)
$Jm_{L[t,z_n,r,k]}$	= Waktu keberangkatan pada posisi k , di tur t kapal z_n , dalam rute r (satuan : waktu)
W_p	= Waktu perjalanan gudang / pengecer ke pengecer (satuan : waktu)
$Jt_{L[t,z_n,r,k]}$	= Waktu tiba pada posisi k di tur t kapal z_n , dan rute r (satuan : waktu)
$Wt_{L[t,z_n,r,k]}$	= Waktu tunggu pada posisi k di tur t kapal z_n , dan rute r (satuan : waktu)
WLT	= Waktu <i>loading</i> produk (satuan : waktu)
WDT	= Waktu <i>discharging</i> produk (satuan : waktu)
$JS_{L[t,z_n,r,NL[t,z_n,r]]}$	= Waktu selesai pengiriman dalam 1 tur (satuan : jam)

Fungsi Tujuan

Pada penelitian ini terdapat 2 fungsi tujuan yaitu fungsi tujuan beban kerja dan fungsi tujuan minimasi biaya. Fungsi tujuan beban kerja yaitu meminimumkan jumlah kapal NV , meminimumkan waktu total penyelesaian tur TCT dan meminimumkan rentang waktu total penyelesaian RCT . Fungsi tujuan beban kerja dalam penelitian ini tujuannya untuk membentuk jumlah tertimbang NV , TCT , dan RCT dengan jumlah minimal yaitu

$$\min f(\theta) = \omega_{NV}NV(\theta) + \omega_{TCT}TCT(\theta) + \omega_{RCT}RCT(\theta) \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan diatas, jumlah tertimbang NV , TCT , dan RCT memiliki bobot-bobot sendiri dari ketiga faktor ($\omega_{NV}NV$, $\omega_{TCT}TCT$, dan $\omega_{RCT}RCT$) masing-masing adalah 1.000.000, 1.000, 10,

sedangkan θ merupakan set solusi. Dari ketiga faktor tersebut ditetapkan prioritas yaitu prioritas pertama adalah meminimumkan NV , Prioritas kedua meminimumkan TCT , dan prioritas ketiga adalah meminimumkan RCT . Dalam permasalahan VRP ini mempertimbangkan adanya *multiple trips*, sehingga fungsi tujuan beban kerja selalu memprioritas jumlah kapal NV sebagai prioritas pertama atau terbesar. Karena sasaran utama pada penelitian ini meminimumkan jumlah kapal NV .

Minimasi Biaya

Dalam melakukan proses pengiriman produk ke pelanggan, maka memerlukan biaya dalam proses pengiriman, besarnya biaya ini berbeda untuk tiap jenis kendaraan yang digunakan, karena perbedaan karakteristik dan kebutuhan tiap kendaraan. Biaya-biaya yang terlibat dalam penelitian ini adalah biaya tetap kendaraan, biaya bahan bakar per kilo-meter, biaya loading dan unloading barang, biaya retribusi selama di perjalanan, gaji supir, dan biaya komodasi perjalanan. Berikut adalah persamaan minimasi biaya :

$$\min TCD = \sum_{r=1}^{NR} \sum_{i=0}^N \sum_{j=1}^{N+1} C_{SK} N_V N_T x_{ij}^k + \sum_{r=1}^{NR} \sum_{i=0}^N \sum_{j=1}^{N+1} C_{BB} d_{ij} x_{ij}^k + 3C_M H_K N_V + C_G N_R + 2 \sum_{r=1}^{NR} \sum_{i=0}^N q_i C_L N_R + C_R N_V N_T \quad (2)$$

Model Kapal

Pada penelitian ini model, kapal bersifat *heterogenous fleet size and mix vehicle*. Sehingga jumlah kapal z_n yang akan digunakan tidak melebihi jumlah keseluruhan (Z_n) yang tersedia. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$z_n \leq Z_n, n = 1, 2, 3, \dots, N \quad (3)$$

Model *heterogenous fleet size and mix vehicle*, jenis kapal z_n yang digunakan berbeda-beda. Sehingga kapal z_1 tidak sama dengan kapal z_2

$z_1 \neq z_2$ (4)
waktu yang dibutuhkan kapal z_n dalam melakukan pendistribusian produk p pada rute r tur t tidak boleh melebihi waktu horison perencanaan yang ditetapkan.

$$tz_{n[p,t,r]} \leq H \quad (5)$$

Tiap pelanggan i memiliki permintaan untuk tiap produk p yaitu $q_{L_{t,r,z_n,k}p}$. Notasi $L_{t,z_n,r,1}$ merupakan lokasi depot dimana $i=0$ dan akan berakhir pada lokasi yang sama. Dengan demikian lokasi depot dapat didefinisikan sebagai :

$$L_{t,z_n,r,1} = L_{t,r,z_n,NL[t,r]} = 0; t = 1,2, \dots, NT; z_n = 1,2, \dots, n; r = 1,2, \dots, NR_{[t]} \quad (6)$$

Untuk lokasi pelanggan didefinisikan sebagai
 $L_{t,r,z_n,k} = i$
 $t = 1,2, \dots, NT; r = 1,2, \dots, NR_{[t]};$
 $z = 1,2, \dots, n; k = 2, \dots, NL_{[t,r]} - 1; i = 1,2, \dots, N$ (7)

Jumlah Kapal

Dalam penelitian jumlah kapal yang digunakan dibatasi tiap jenis kapal, tujuannya untuk mengurangi penggunaan kapal dan meminimasi TCT. sehingga terdapat *demand* pelanggan yang belum terpenuhi. Jika solusi dari permasalahan ini menghasilkan sejumlah tur maka, sejumlah tur tersebut merupakan kebutuhan kapal (tanker).

$$\text{Jumlah tur kapal jenis } z_n = \text{Jumlah total kapal } z_n \\ NV = NT_{z_n} \quad (8)$$

Kapasitas kompartemen untuk produk p pada tiap kapal adalah $Q[p]$ dan kecepatan kapal adalah v . Jumlah rute dalam sebuah tur t ($t=1, \dots, NT$) adalah . Jenis kapal z_n melayani beberapa rute dalam satu tur, atau disebut dengan *multiple trips* dengan kendaraan yang berbeda setiap tur *heterogenous fleet size and mix vehicle* sehingga depot memulai

perjalanannya untuk rute r dalam tur t yang merupakan depot akhir perjalanan rute sebelumnya $r-1$ dalam tur t yang sama.

$$L_{t,z_n,r,1} = L_{t,r,z_n-1,NL[t,r-1]} = 0; t = 1,2, \dots, NT; z_n = 1,2, \dots, Z_n; r = 1,2, \dots, NR_{[t,z_n]} \quad (9)$$

Kendala *split delivery* memastikan bahwa setiap pelanggan akan mendapatkan setidaknya satu kali pengantaran, sehingga permintaan pada lokasi atau pelanggan i dapat dihantarkan dengan lebih dari sekali pengantaran.

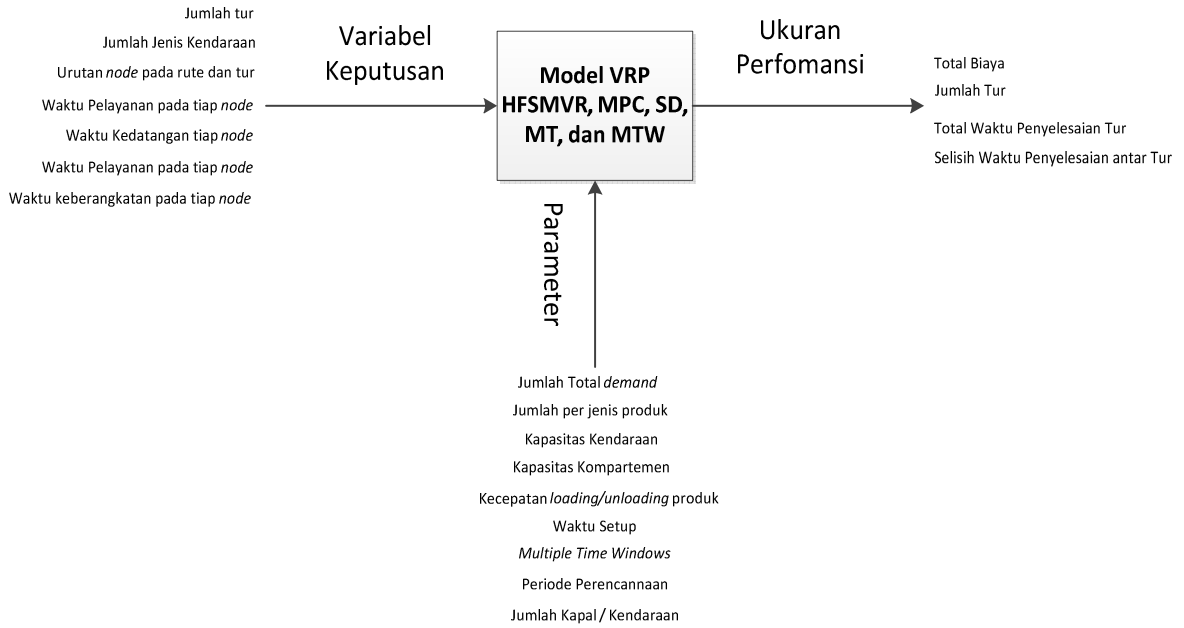
$$L_{t,r,z_n,k} \geq 1; t = 1,2, \dots, NT; z_n = 1,2, \dots, n; r = 1,2, \dots, NR_{[t,z_n]}; k = 2, \dots, NL_{[t,r,z_n]} - 1 \quad (10)$$

Muatan pada setiap rute untuk tiap produk harus lebih kecil atau sama dengan kapasitas kompartemen. Dalam hal pengantaran produk, banyaknya muatan tiap kompartemen kapal b yang melayani suatu rute r dalam tur t tidak boleh melebihi kapasitas kompartemen produk p .

$$b_{l_{t,z_n,r}p} \leq Q[p], \forall t = 1,2, \dots, NT; \\ z_n = 1,2, \dots, n; r = 1,2, \dots, NR_{[t,z_n]}; p = 1,2, \dots, n \quad (11)$$

Besarnya muatan yang dibawa tanker dalam tur t oleh kapal z_n (t, z_n), rute r untuk produk p , jumlahnya kurang atau sama dengan jumlah permintaan pelanggan yang ada didalam rute r dari tur (t, z_n) untuk produk p . Proporsi $y_{L_{t,r,z_n,k}p}$ terjadi akibat *split delivery* sehingga mungkin saja *demand* suatu konsumen dipenuhi dengan lebih dari sekali pengiriman.

$$b_{l_{t,z_n,r}p} \leq \sum_{k=2}^{NL_{[t,z_n,r]}-1} q_{L_{t,r,z_n,k}p} \cdot y_{L_{t,r,z_n,k}p}; \\ t = 1,2, \dots, NT; z_n = 1,2, \dots, n; r = 1,2, \dots, NR_{[t,z_n]}; p = 1,2, \dots, n \quad (12)$$



Gambar 1. Model Konseptual Penelitian

Persamaan ini menyatakan bahwa setiap pelanggan akan menerima kiriman *demand* secara penuh.

$$\sum_{t=1}^{NT} y_{L_{t,r,z_n,k}P} = 1; t = 1, 2 \dots NT; z_n = 1, 2, \dots, n; r = 1, 2, \dots, NR_{[t]}; p = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

Jam buka dan jam tutup (multiple time windows)

Jam pelayanan pelanggan bersifat dinamik dan implisit, jam pelayanan T_i dibatasi oleh batas bawah dan batas atas untuk semua pelanggan i .

$$\bigwedge_{h=1}^{m_i} \neg(a_i^h \leq T_i \leq b_i^h), \forall i \in N, m = 1, 2, \dots, NM \quad (14)$$

Pembatas ini menyatakan bahwa adalah jumlah *holes* didalam time windows untuk pelanggan i , sehingga, menjadi *hole* ke- h .

Waktu Perjalanan

Waktu perjalanan adalah waktu yang dibutuhkan kapal z_n dalam mengirimkan produk p rute r dan tur t dari suatu lokasi $L_{t,z_n,r,k}$ sampai ke lokasi pelanggan berikutnya $L_{t,z_n,r,k+1}$. Dalam hal ini jenis kapal yang digunakan dan kecepatan sangat mempengaruhi lamanya perjalanan.

$$Wp = \tau_{[L_{t,r,z_n,k}], [L_{t,r,z_n,k+1}]} \quad (15)$$

Waktu setup

Waktu setup merupakan waktu yang dibutuhkan untuk persiapan produk p untuk dimasukan ke dalam kapal z_n . Penetapan waktu *setup* tergantung rata rata lamanya waktu dilakukan.

Waktu loading

Waktu *loading* merupakan waktu untuk memasukkan muatan ke dalam kapal z_n di depot i . Waktu *loading* didapatkan dari jumlah produk yang diangkut dan kendaraan yang digunakan, artinya semakin besar kapal yang digunakan dan banyak yang dimuat maka waktu *loading* akan semakin lama.

$$WLT = \frac{b[l[t, z_n, r, p]]}{LT} \quad (16)$$

Waktu Discharging

Waktu discharging adalah waktu yang dibutuhkan untuk membongkar muatan produk p dari kapal z_n di lokasi pelanggan $L_{t, z_n, r, k}$. Semakin besar kendaraan dan banyak produk yang dimuat semakin lama waktu yang dibutuhkan.

$$WDT = \frac{b[l[t, z_n, r, p]]}{DT} \quad (17)$$

Completion time

Completion time merupakan hasil penjumlahan waktu setup, waktu *loading*, waktu *discharging*, waktu perjalanan, dan waktu tunggu

$$CT_{[t, z_n]} = Ws \sum_{r=1}^{NR[t, z_n]} \sum_{k=1}^{NL[t, z_n, r]} L_{t, z_n, r, k} + (WDT + WLT) \sum_{r=1}^{NR[t, z_n]} \sum_{i=1}^n b_{t, z_n, r, p} + \sum_{r=1}^{NR[t, z_n]} \sum_{k=1}^{NL[t, z_n, r]} \tau_{[L[t, r, k]], [L[t, r, k+1]]} + \sum_{r=1}^{NR[t, z_n]} \sum_{k=1}^{NL[t, z_n, r]} Wt_{t, z_n, r, k} \quad (18)$$

Waktu penyelesaian tur kapal z_n adalah sama dengan saat selesai suatu tur $J_{SL[t, z_n, r, NL[t, z_n, r]]}$

$$CT_{t, z_n} = J_{SL[t, z_n, r, NL[t, z_n, r]]} \quad (19)$$

Jam Mulai

Waktu keberangkatan kendaraan kendaraan z_n dalam mengirimkan produk p rute r dan tur t dari depot i atau dari lokasi pelanggan $Jm_{L[t, z_n, r, k]}$ merupakan saat selesai pelanggan pada lokasi se-belumnya $J_{SL[t, z_n, r, k-1]}$

$$Jm_{L[t, z_n, r, k]} = J_{SL[t, z_n, r, k-1]} \quad (20)$$

Jam Tiba

Jam Tiba merupakan waktu kedatangan kendaraan kendaraan z_n dalam mengirimkan produk p rute r dan tur t . Jam tiba ini penjumlahan waktu keberangkatan kendaraan ditambah dengan waktu perjalanan.

$$Jt_{L[t, z_n, r, k]} = Jm_{L[t, z_n, r, k]} + Wp \quad (21)$$

Waktu Tunggu

Waktu tunggu merupakan waktu tunggu kendaraan z_n dalam mengirimkan produk p rute t dan tur t . waktu tunggu ini biasanya terjadi apabila kendaraan datang saat pelanggan belum atau sudah jam tutup, melebihi waktu pelayanan. Sehingga terjadi waktu tunggu.

$$WtL[t, z_n, r, k] = \begin{cases} b_i^h - JtL[t, z_n, r, k], & b_i^h \geq JtL[t, z_n, r, l] \\ 0, & b_i^h \leq JtL[t, z_n, r, l] \end{cases} \quad (22)$$

Horison Perencanaan

Horizon perencanaan dimana membatasi total waktu penyelesaian tur kapal z_n . Dalam penelitian ini panjang horison berdasarkan nilai daya tahan stock produk paling kecil. Panjang horison dinotasikan dengan H . sedangkan waktu penyelesaian tur / Completion time $CT_{[t, z_n]}$ untuk tur t kendaraan z_n tidak boleh melebihi horison perencanaanya.

$$CT_{[t, z_n]} \leq H \quad (23)$$

Berdasarkan waktu penyelesaian tur t tiap kendaraan z_n sehingga didapatkan Total Completion Time (TCT) merupakan Total Hasil penjumlahan dari Completion time $CT_{[t, z_n]}$ semua tur t dan kendaraan z_n , yang dijadikan sebagai solusi.

$$TCT = \sum_{t=1}^{NT} CT_{[t, z_n]} \quad (24)$$

Range of completion time

Range of completion time merupakan perbedaan antara waktu penyelesaian maksimum dan mini-mum yang digunakan sebagai ukuran keseimbangan waktu penyelesaian tur.

$$RCT = \left\{ \begin{array}{l} \text{Max}\{CT_{[t,z_n]}\} - \text{Min}\{CT_{[t,z_n]}\}, NT > 2 \\ 0, NT = 1 \end{array} \right. \quad (25)$$

Pengembangan teknik pemecahan model ini menentukan algoritma yang akan digunakan untuk menyelesaikan masalah pada penelitian ini. Algoritma yang digunakan dalam penelitian ini adalah *sequential insertion* dengan teknik *local search*. Kemudian dari solusi awal yang terbentuk dilakukan perbaikan dengan algoritma inter move yaitu *relocation* 1-0.

Langkah - langkah berikut ini merupakan konstruksi penyelesaian yang telah dibangun berdasarkan notasi matematis.

Langkah 0

Inisiasi: $N = N$; $NT = 0$; $NV = 0$; $TCT = 0$; $Z_1 = 1$

Lanjutkan ke langkah 1

Langkah 1

Tetapkan: $t = 1; r = 1; NT_{z_n} = NT_{z_n} + 1$

$$\begin{aligned} NR[tz_n] &= 1; NL[t, z_n, r] = 2 \\ L[t, z_n, r, l] &= L[t, z_n, r, NL[t, z, r]] = 0 \\ CT[t, z_n] &= 0 \end{aligned}$$

Lakukan pengecekan *demand*, jika demand sudah terpenuhi lanjutkan ke langkah 9, jika tidak lanjutkan ke langkah 2.

Langkah 2

Untuk $i \in N$, coba masukkan setiap i diantara $(k, k+1)$ untuk $k = 1, \dots, NL[t, z, r] - 1$.

Tetapkan: $Jm_{L[t, z_n, r, k]} = 0; Wp = \tau_{[L[t, z_n, r, k]], [L[t, z_n, r, k+1]]}$

$$Jt_{L[t, z_n, r, k]} = 0; WtL[t, z_n, r, k] = 0$$

$Ws_{L[t, z_n, r, k]} = \text{input parameter}$

$$WLT = \frac{b[L[t, z_n, r, p]]}{LT}$$

$$WDT = \frac{b[L[t, z_n, r, p]]}{DT}$$

$$JS_{L[t, z_n, r, NL[t, z_n, r]]} =$$

$$Jm_{L[t, z_n, r, k]} + Wp + Jt_{L[t, z_n, r, k]} +$$

$$Wt_{L[t, z_n, r, k]} +$$

$$Ws_{L[t, z_n, r, k]} + WLT +$$

$$WDT$$

$$CT[t, z_n] = JS_{L[t, z, r, NL[t, z, r]]}$$

Jika $CT[t, z_n] > H$, Lanjutkan

ke langkah 8

Jika $CT[t, z_n] < H$,

Tetapkan pilih i^* atau $L_{[t, z_n, r, NL[t, z_n, r]]}^*$ yang memberikan waktu penyelesaian tur terpendek $CT[t, z_n]$ dan lanjutkan ke langkah 3.

Langkah 3

Jika $q[i^*, p] \leq Q[p]$ untuk $\forall p$,

Kemudian tetapkan $N = N - \{i^*\}$

$$Q[p] = Q[p] - q[i^*, p], \forall p$$

$$b[L[t, z_n, r, p]] = b[L[t, z_n, r, p]] +$$

$q[i^*, p], \forall p$

$$NL[t, z_n, r] = NL[t, z_n, r] + 1$$

$$L[t, z_n, r, 1] = L[t, z_n, r, NL[t, z_n, r]]$$

= 0

$$L[t, z_n, r, NL[t, z_n, r] - 1] = i^*$$

Maka permintaan $q[i^*, p]$ sudah terpenuhi semua

$$q[i^*, p] = 0$$

Jika $q[i^*, p] \geq Q[p]$ untuk $\forall p$ (*split delivery*)

Maka $q[i^*, p]$ belum terpenuhi semua

$$q[i^*, p] = q[i^*, p] - Q[p]$$

Kemudian tetapkan $N = N$ yang baru.

Lanjutkan ke langkah 4

Langkah 4

Jika $N \neq \emptyset$, lanjutkan ke langkah 5.

Sebaliknya lanjutkan ke langkah 9

Langkah 5

Untuk $i \in N$, coba masukkan setiap i diantara $(k, k+1)$ untuk $k = 1, \dots, NL[t, z, r] - 1$.

1. Tetapkan: $Jm_{L[t, z_n, r, k]} = JS_{L[t, z_n, r, k-1]}$

$$Wp = \tau_{[L[t, z_n, r, k]], [L[t, z_n, r, k+1]]}$$

$$Jt_{L[t,z_n,r,k]} = Jm_{L[t,z_n,r,k]} + Wp$$

$$WtL[t, z_n, r, k] = \begin{cases} b_i^h - JtL[t, z_n, r, k], & b_i^h \geq JtL[t, z_n, r, k] \\ 0, & b_i^h \leq JtL[t, z_n, r, k] \end{cases}$$

$$Ws_{L[t,z_n,r,k]} = \text{input parameter}$$

$$WLT = \frac{b[L[t,z_n,r,p]]}{LT}$$

$$WDT = \frac{b[L[t,z_n,r,p]]}{DT}$$

$$Js_{L[t,z_n,r,NL[t,z,r]]} = Jm_{L[t,z_n,r,k]} + Wp + Jt_{L[t,z_n,r,k]} + Wt_{L[t,z_n,r,k]} + Ws_{L[t,z_n,r,k]} + WLT + WDT$$

Update $CT[t, z_n] = Js_{L[t,z,r,NL[t,z_n,r]]}$
 Jika $CT[t, z_n] < H$, $q[i^*, p] \leq Q[p]$, dan $z_n \leq Z$ lanjutkan ke langkah 6.
 Jika $[t, z_n] < H$, $q[i^*, p] \geq Q[p]$, dan $z_n \leq Z$ lanjutkan ke langkah 7.
 Jika $CT[t, z_n] > H$, dan $z_n \leq Z$ lanjutkan ke langkah 8.
 Jika $CT[t, z_n] > H$, dan $z_n > Z$ lanjutkan ke langkah 10.

Langkah 6

Pilih i^* dan lakukan insersi pada posisi (k^* , $k^* + 1$) yang memberikan waktu penyelesaian tur terpendek $[t, z_n]$.
 Jika $q[i^*, p] \leq Q[p]$ untuk $\forall p$, kemudian tetapkan $N = N - \{i^*\}$

$$NL[t, z_n, r] = NL[t, z_n, r] + 1$$

$$Q[p] = Q[p] - q[i^*, p], \forall p$$

$$b[L[t, z_n, r, p]] = b[L[t, z_n, r, p]] + q[i^*, p], \forall p$$

$$L[t, z_n, r, k^*] = i^*$$

Maka permintaan $q[i^*, p]$

sudah terpenuhi semua $q[i^*, p] = 0$
 Jika $q[i^*, p] \geq Q[p]$ untuk $\forall p$ (*split delivery*) maka permintaan $q[i^*, p]$ belum terpenuhi semua $q[i^*, p] = q[i^*, p] - Q[p]$ kemudian tetapkan $N = N$

Langkah 7

$$z_n = z_n + 1$$

$$r = r + 1$$

$$NR[t, z_n] = NR[t, z_n] + 1$$

$$NL[t, z_n, r] = 2$$

$$L[t, z_n, r, 1] =$$

$$L[t, z_n, r, NL[t, z_n, r]] = 0$$

$$b[t, z_n, r, p] = 0, \forall p$$

Lanjutkan ke langkah 1

Langkah 8

$$t = t + 1$$

$$z_n = z_n + 1$$

$$r = 1$$

$$NT_{z_n} = NT_{z_n} + 1$$

$$NL[t, z_n, r] = 2$$

$$L[t, z_n, r, 1] =$$

$$L[t, z_n, r, NL[t, z_n, r]] = 0$$

$$b[t, z_n, r, p] = 0, \forall p$$

$$CT[t, z_n] = 0$$

Lanjutkan ke langkah 1

Langkah 9

Tetapkan

$$NV = NT_{z_n}$$

$$TCT = \sum_{t=1}^{NT_{z_n}} CT[t, z_n]$$

$$RCT = \text{Max} \{CT[t, z_n]\} -$$

$$\text{Min} \{CT[t, z_n]\}$$

$$Z = z_n + 1$$

Jika $z_n \leq Z$ maka lanjutkan

ke langkah 1

Jika $z_n > Z$ maka lanjutkan

ke langkah 10

Algoritma ini berhenti jika nilai jenis kapal z_n telah melebihi total jumlah jenis kapal yang ada Z , artinya perhitungan telah dilakukan untuk semua jenis kapal.

Langkah 10

Tetapkan

$$f(\theta)^*$$

$$TCD$$

Stop

Algoritma ini mampu memberi hasil yang memuaskan dan dari algoritma yang dibangun proses perhitungan sudah mampu menangani criteria-kriteria yang menjadi pertimbangan pada model VRP ini.

Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian ini penentuan rute dan pendistribusian produk, terdapat contoh kasus perhitungan. Langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan matriks waktu dan jarak, permintaan pelanggan selama 7 hari, data jenis kapal tanker dengan kapasitas 2.000 kl, 4.700 kl, dan 8.750 kl. dan data konstanta waktu, dan biaya berdasarkan pada penelitian sebelumnya arvianto dan aditya.

Tabel 1. Permintaan pelanggan

Node	Nama Pelabuhan	Premium	Minyak Tanah	Solar
001	Atapupu	287.000	371.000	378.000
002	Dili	350.000	183.750	905.800
003	Kalabahi	49.000	112.000	105.000
004	Larantuka	105.000	210.000	210.000
005	Maumere	219.100	241.500	344.400
006	Reo	119.000	401.100	337.400
007	Ende	160.300	273.000	312.200
008	Waingapu	119.000	196.000	280.000

Tabel 2. Matriks waktu

000									
11,8	001								
18	5,5	002							
14	6,3	9,6	003						
13	12,9	17,5	11,8	004					
21,8	29,5	25,5	19,4	12	005				
34,8	29,9	32	27,4	21,8	12,4	006			
14	19,2	24	18,5	9,3	9,3	25,2	007		
20,1	26,5	31,1	19,8	25,4	25,4	13,5	9,9	008	

Langkah kedua adalah menentukan besarnya nilai bobot yang akan digunakan dalam perhitungan fungsi beban kerja dan fungsi biaya. Untuk besar-nya bobot yang digunakan adalah 1.000.000 untuk bobot jumlah kapal (NV), 10.000 untuk TCT, dan 10 untuk faktor

RCT, dan bobot ini mengikuti data Yudistira *et al.* Proses perhitungan mengikuti algoritma sequential insertion yang telah dikembangkan.

Langkah selanjutnya menentukan besarnya biaya distribusi. Biaya ini terdiri dari biaya tetap kendaraan, biaya bahan bakar, akomodasi perjalanan, gaji supir, biaya retribusi, dan biaya *loading unloading*.

Tabel 3. Konstanta biaya

No	Jenis Konstanta	Besar Biaya (Rp.)
1	Biaya tetap kendaraan	
	• Tanker 6.500	1.800.000.000,00
	• Tanker 3.500	800.000.000,00
	• Tanker 1.500	550.000.000,00
2	Biaya bahan bakar per kilometer	150.000,00
3	Akomodasi perjalanan per hari	40.000,00
4	Gaji Sopir per rute	400.000,00
5	Biaya Retribusi Perjalanan	500.000,00
6	Biaya <i>Loading/ Discharging</i>	1.500.000,00

Kemudian melakukan perhitungan dengan algoritma *sequential insertion* dengan metode teknik *local search* kemudian dari hasil solusi awal yang terbentuk dilakukan dengan perbaikan dengan *relocation* 1-0. Berdasarkan hasil perhitungan kombinasi semua kapal, terdapat 6 alternatif solusi untuk mendistribusikan BBM ke pelanggan di NTT dan Timor leste. Dari 6 kombinasi kapal yang tersedia, maka kombinasi kapal yang terpilih adalah kombinasi kapal tanker 2.000 kl dan 4.700 kl. pada kombinasi kapal tanker terpilih ini didapatkan hasil bahwa untuk melayani kebutuhan semua pelanggan dibutuhkan 2 kali tur dengan 2 buah kapal tanker yang berbeda jenis dengan total waktu penyelesaian tur adalah 265.76 jam dan rentang waktu penyelesaian 70.24 jam. Dengan fungsi beban kerja sebesar

2.266.462,4 dan fungsi biaya sebesar Rp. 1.818.232.000,00. Hasil yang menarik karena kombinasi kapal yang terpilih adalah kombinasi kapal kecil dan sedang, bukan kombinasi kapal besar dan sedang. Hal ini karena kapal tanker kecil dengan kecepatan *loading* lebih cepat dapat menyeimbangkan dengan kapal tanker sedang, sehingga selain menurunkan total waktu penyelesaian tur, fungsi beban kerja, juga dapat menurunkan fungsi biaya, karena biaya sewa jenis kapal tanker berbeda.

Sedangkan hasil *relocation* 1-0 maka kombinasi yang terpilih sama yaitu

kombinasi kapal 2.000 kl dan 4.700 kl didapatkan hasil bahwa untuk melayani kebutuhan semua pelanggan dibutuhkan 2 kali tur dengan 2 kapal tanker dengan total waktu penyelesaian tur 272.27 jam dan rentang waktu penyelesaian tur 63.73 sedangkan fungsi beban kerja yang dihasilkan 2.272.907,3 dan fungsi biaya sebesar Rp. 1.899.536.000,00. Hasil *relocation* 1-0 ini tidak layak dan optimal karena tidak memenuhi batasan-batasan yang telah ditentukan. Sehingga solusi yang diambil adalah hasil solusi awal.

Tabel 4. Rekapitulasi hasil solusi awal

K	Tur		KT	TCT (jam)	RCT (jam)	Fungsi Tujuan (Min) [1.000.000 , 1.000 , 10]		Fungsi Minimasi Biaya (Rp)	
	Jml	Rute							
8750 dan 4700	2	T1 = 0 - 4 - 2 - 1 - 3 - 0	8750	145.33	22.67	1145556.7	2268501.8	1,961,141,400	2,958,276,800
		T2 = 0 - 8 - 6 - 5 - 7 - 0	4700	122.49	45.51	1122945.1		997,135,400	
8750 dan 2000	3	T1 = 0 - 4 - 2 - 1 - 3 - 0	8750	145.33	22.67	1145556.7	3348847.2	1,961,141,400	3,473,017,800
		T2 = 0 - 6 - 8 - 7 - 0 - 7 - 0	2000	144.54	23.46	1144774.6		836,495,600	
		T3 = 0 - 5 - 0	2000	57.41	110.59	1058515.9		675,380,800	
4700 dan 8750	3	T1 = 0 - 8 - 7 - 3 - 5 - 4 - 0	4700	144.75	23.25	1144982.5	3341036.1	1,062,816,200	3,963,108,400
		T2 = 0 - 2 - 1 - 0	8750	98.98	69.02	1099670.2		1,902,563,400	
		T3 = 0 - 6 - 0	4700	95.66	72.34	1096383.4		997,728,800	
4700 dan 2000	3	T1 = 0 - 8 - 7 - 3 - 5 - 4 - 0	4700	144.75	23.25	1144982.5	3344520.9	1,062,816,200	2,532,069,200
		T2 = 0 - 2 - 1 - 0 - 1 - 0	2000	118.84	49.16	1119331.6		721,524,200	
		T3 = 0 - 6 - 0	2000	79.32	88.68	1080206.8		747,728,800	
2000 dan 8750	2	T1 = 0 - 3 - 1 - 4 - 0 - 2 - 4 - 0	2000	143.27	24.73	1143517.3	2296746.5	821,096,600	2,818,352,000
		T2 = 0 - 7 - 5 - 6 - 8 - 0	8750	153.08	14.92	1153229.2		1,997,255,400	
2000 dan 4700	2	T1 = 0 - 3 - 1 - 4 - 0 - 2 - 4 - 0	2000	143.27	24.73	1143517.3	2266462.4	821,096,600	1,818,232,000
		T2 = 0 - 8 - 6 - 5 - 7 - 0	4700	122.49	45.51	1122945.1		997,135,400	

Tabel 5. Rekapitulasi hasil perbaikan relokasi 1-0

K	Tur		KT	TCT (jam)	RCT (jam)	Fungsi Tujuan (Min) [1.000.000 , 1.000 , 10]		Fungsi Minimasi Biaya (Rp)	
	Jumlah	Rute							
8750 dan 4700	2	T1 = 0 - 4 - 7 - 2 - 1 - 3 - 0	8750	169.33	22.67	1169556.7	2276651.9	2,005,153,800	2,998,002,200
		T2 = 0 - 8 - 6 - 5 - 7 - 0	4700	106.48	61.52	1107095.2		992,848,400	
8750 dan 2000	2	T1 = 0 - 4 - 2 - 1 - 3 - 0	8750	145.33	22.67	1145556.7	2314331.3	1,961,142,000	2,845,261,400
		T2 = 0 - 6 - 8 - 7 - 0 - 5 - 7 - 0	2000	168.54	23.46	1168774.6		884,119,400	
4700 dan 8750	2	T1 = 0 - 8 - 7 - 2 - 3 - 5 - 4 - 0	4700	144.75	23.25	1144982.5	2314301.6	1,062,816,200	3,112,695,800
		T2 = 0 - 2 - 1 - 6 - 0	8750	169.09	22.91	1169319.1		2,049,879,600	
4700 dan 2000	2	T1 = 0 - 8 - 7 - 3 - 5 - 4 - 0	4700	144.75	23.25	1144982.5	2311834.1	1,062,816,200	1,931,416,600
		T2 = 0 - 2 - 1 - 0 - 6 - 1 - 0	2000	166.84	1.16	1166851.6		868,600,400	
2000 dan 8750	2	T1 = 0 - 3 - 1 - 4 - 0 - 2 - 4 - 0 - 7 - 0	2000	166.27	1.73	1166287.3	2319516.5	902,400,600	2,899,656,000
		T2 = 0 - 5 - 6 - 8 - 0	8750	153.08	14.92	1153229.2		1,997,255,400	
2000 dan 4700	2	T1 = 0 - 3 - 1 - 4 - 0 - 2 - 4 - 0 - 7 - 0	2000	166.27	1.73	1166287.3	2272907.3	902,520,600	1,899,536,000
		T2 = 0 - 8 - 6 - 5 - 0	4700	106	62	1106620		997,015,400	

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa model VRP dengan varian baru *heterogeneous fleet size and mix vehicle* yang telah dibuat dalam penelitian ini sudah mampu diterapkan pada kondisi nyata yang telah mempertimbangkan batasan jam bukan dan tutup, jumlah produk yang lebih dari satu, serta ketersediaan kapal yang lebih dari 1 jenis dan kapasitas muatannya (*heterogeneous fleet size mix vehicle routing, multiple trips, multiple time windows, multiple product and compartment, dan split delivery*).

Penyusunan dan penentuan urutan pelanggan berdasarkan penyusunan alternatif rute yang

ada, kemudian dipilih berdasarkan ketersediaan jumlah kapasitas kapal dan total waktu pelayanan yang paling minimal, sehingga akan didapatkan solusi dengan waktu pelayanan terpendek, namun dengan jumlah maksimal pelanggan dalam tur. Solusi yang dihasilkan juga tidak melanggar batasan kapasitas kapal, jam pelayanan pelanggan, serta periode perencanaan keseluruhan. Sedangkan hasil relokasi 1-0 yang sudah dihasilkan tidak dapat menghasilkan solusi yang optimal karena melanggar batasan penelitian yang telah ditentukan sehingga solusi yang diambil berdasarkan solusi awal.

Selain dapat menyelesaikan kasus VRP sesuai dengan karakteristik penelitian ini, model yang telah dibuat juga mempunyai

kemampuan untuk memecahkan kasus VRP dengan varian *single product and compartment, single time windows*, dan *homogeneous fleet, heterogeneous fleet (non mix)*.

Adanya perubahan parameter inputan pada penelitian ini juga dapat mempengaruhi hasil dari perhitungan. Karena tiap parameter akan mempengaruhi proses perhitungan yang akan dijadikan alternatif solusi.

DAFTAR PUSTAKA

- Arvianto, Ary. 2009. *Teknik Local Search Untuk Masalah Rute dan Jadwal Dengan Karakteristik Multiple Time Windows*. Tesis Magister Teknik Industri ITB.
- Asmi. G.R., Suparno, Prasetyawan, Y. (2008), *Implementasi Vehicle Routing Problem with Heterogeneous Fleet of Vehicle and Time Windows (Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi VII, Program Studi MMT, Surabaya*
- Belfiore, Patricia, and Yoshizaki. 2008. *Scatter Search For A Real Life Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Time Windows And Split Deliveries in Brazil*. European Journal of Operational Research.
- Belfiore, Patricia, and Yoshizaki. 2012. *Heuristic Methods For The Fleet Size And Mix Vehicle Routing Problem With Time Wndows And Split Deliveries*. European Journal of Operational Research.
- Bodin, L., Golden, B., Assad, A., M.Ball (1983), *Routing and Scheduling of Vehicles and Crews*. The State of The Art, Computer and Operations Research.
- Christofides, N., Mingozzi, A., Toth, P., (1979). *The Vehicle Routing Problem* Willey, Chichester. UK.
- Christoper, M., (2005). *Supply Chain Management*. USA.
- Coyle, J., Bardi, J., Novack, A., (1994). *Transportation 4th Edition*. West Publishing Company. USA
- Gheysens, F., Golden, B., dan Assad, A. 1986, *A Comparison of Techniques for Solving the Fleet Sizee and Mix Vehicle Routing Problem*, 6:207-216
- Subramanian, Anand. 2012. *A Hybrid Algorithm For The Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Vehicle Probem*. European Journal of Operational Research.
- Toth, P., Vigo, D., 2002. *The Vehicle Routing Problem*. Society for Industrial and Mathematics. SIAM, Philadelphia
- Brandao, Jose. 2007. *A deterministic tabu search algorithm for the fleet size and mix vehicle routing problem*. European Journal of Operational Research 716 –728
- Lau, Hong Chuin, Melvyn Sim, dan Kwong Meng Teo, .2003. *Vehicle routing problem with time windows and a limited number of vehicles*. European Journal of Operational Research 559 –569